

Aus dem Pathologischen Institut
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. med. V. Becker

Der Mineralgehalt im Knochenvolumen und Frischgewicht

Vergleichende Untersuchungen am
III. und V. Lendenwirbelkörper und Femurhals
in verschiedenen Lebensaltern.

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
dem Fachbereich Medizin
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von
Helmut Gottlieb Konrad Schmidt
aus Erlangen



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548420_0072

Aus dem Pathologischen Institut
der Universität Erlangen - Nürnberg
Direktor: Professor Dr. med. V. Becker

Der Mineralgehalt im Knochenvolumen und Frischgewicht

Vergleichende Untersuchungen am
III. und V. Lendenwirbelkörper und Femurhals
in verschiedenen Lebensaltern.

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
dem Fachbereich Medizin
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Helmut Gottlieb Konrad Schmidt
aus Erlangen

Gedruckt mit Erlaubnis des Fachbereichs Medizin
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. E. Rügheimer

Referent: Priv.-Doz., Dr. med. habil., Dr. G. Brandt

Korreferent: Prof. Dr. V. Becker

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Februar 1977

Inhaltsverzeichnis

a)	Einleitung	2
b)	Material und Methode	3
c)	Ergebnisse	6
	I. Wasser, organischer und anorganischer Anteil	6
	II. Knochenasche	9
	III. Konzentration/Volumen-Konzentration/ Frischgewicht	16
	IV. Korrelationsdiagramme für Kalzium, Magnesium und Zink	25
	V. Regressions-Korrelationsanalyse	31
d)	Diskussion	33
	I. Wasser, organischer und anorganischer Anteil	33
	II. Elemente	33
	III. Unterschiede zwischen dem Elementge- halt pro Volumen und Frischgewicht	41
e)	Zusammenfassung	46
f)	Literaturverzeichnis	48
	Lebenslauf	55
	Danksagung	56

a) Einleitung

Die Ende des mittleren Erwachsenenalters einsetzende und mit zunehmendem Alter fortschreitende, physiologische Knochenatrophie beginnt am Stammskelett und verursacht an diesem, verglichen mit dem peripheren Skelett, den größten Knochenverlust (WAGNER 1965, JAFFE 1972, CHALMERS 1973, UEHLINGER 1974). Wenn der die Knochenmasse reduzierende Prozeß in verstärktem Maße - im Sinne einer Osteoporose - verläuft, so resultieren daraus morphologische Wirbelkörperveränderungen wie Deckplatteneinbrüche, Keilwirbel-, Fischwirbel- und Flachwirbelbildung. Trotz der Häufigkeit dieser Erscheinungen gibt es nur wenige Untersuchungen der Wirbelsäule oder einzelner Wirbelkörper, die sich mit den dabei ablaufenden Veränderungen des Mineralgehaltes, insbesondere mit dem wichtigsten Element - dem Kalzium - befassen. Neben dem quantitativ führenden Kalzium wurden die Mengenelemente Magnesium, Zink und Eisen und das Spurenelement Kupfer in dieser Arbeit untersucht. Um Vergleiche zwischen spongiösem und kompaktem Knochen ziehen zu können, wurde der Elementgehalt des 3. und 5. Lendenwirbelkörpers und des Femurhalses bestimmt. Die Elementkonzentrationen wurden sowohl auf das Volumen als auch auf das Frischgewicht bezogen. In der Gegenüberstellung beider Methoden ergeben sich Aussagen über die Effizienz einer gewichtsbezogenen Mineralanalyse, die am Obduktionsmaterial a priori mit geringeren Meßfehlern behaftet zu sein scheint, und dem volumenbezogenen Elementgehalt, der der natürliche Parameter des Kalksalzgehaltes in der klinischen Radiologie ist.

b) Material und Methode

Bei 110 Sektionsfällen im Alter von 31 bis 97 Jahren, wovon 53 Männer und 57 Frauen waren, wurden der 3. und 5. Lendenwirbelkörper (LWK III und LWK V) und das coxale Femurende entnommen und von Weichteilen gesäubert. Unter diesen Sektionsfällen befanden sich keine mit Frakturen, Entzündungen, Systemerkrankungen oder metastasierenden Tumoren. Zusätzlich mit in die Untersuchungen einbezogen wurden 3 Fälle, von denen anzunehmen war, daß sie eine Osteoporose aufwiesen (M.Cushing, Steroidtherapie, Malabsorptionsyndrom). Die Ergebnisse von diesen wurden von den "Normalfällen" getrennt ausgewertet.

Von den beiden Wirbelkörpern wurde je eine planparallele, in der Frontalebene liegende Scheibe, und vom rechten medialen Femurhals eine Scheibe senkrecht zur Halsachse herausgesägt. Für die ca. 4mm dicken Scheiben erfolgte eine Bestimmung des Frisch- und Trockengewichtes. Mit Hilfe eines Planimeters und einer Schublehre wurde das Knochenvolumen ermittelt. Daran schloß sich, nach Veraschung im Muffelofen bei 700°C für 2 Stunden, die Messung des Gewichtes der Knochenasche an. Aus dieser wurde eine 1%ige salzsaure Lösung hergestellt. Am Atomabsorptionsspektralphotometer (BECKMAN 495) folgte eine Vermessung dieser Lösungen gegen wässrige Eichlösungen (MERCK) auf ihren Gehalt an Kalzium, Magnesium, Zink, Eisen und Kupfer (PESCH, BRANDT, LUTZ 1973). Für die Magnesiumbestimmung wurde eine Eichlösung ohne Kalziumphosphat verwendet. Ein gemeinsames Vermessen von Kalziumphosphat als Nulleichlösung und Magnesium in einer Lanthanchloridlösung ergab für höhere

Magnesiumkonzentrationen bei den Proben erniedrigte Meßergebnisse, da die Addition von absorptionsaktiven Substanzen in der Eichlösung nicht durch eine additive Messung des Photometers beantwortet wird. Die Meßergebnisse wären somit bei dem für die Messungen in Frage kommenden Meßbereich um ca. 5% zu niedrig gewesen. Für die fünf Elemente wurde die Konzentration in Prozent der Knochenasche, in Milligramm pro Milliliter Knochenvolumen und in Milligramm pro Gramm Frischgewicht errechnet.

Die Meßdaten wurden für beide Geschlechter getrennt bestimmten Altersgruppen (Dezennien) zugeordnet (Tab. 1). Die Auswertung erfolgte im Sinne einer Pilotstudie. Zusätzlich folgte eine Signifikanzprüfung zwischen beiden Geschlechtern und eine Regressions-Korrelationsanalyse zwischen den auf das Frischgewicht, bzw. Volumen bezogenen Werten. Die Ergebnisse für Kalzium, Magnesium und Zink wurden in Korrelationsdiagrammen dargestellt.

Alter	Männer	Frauen
30 - 39	10	8
40 - 49	10	10
50 - 59	10	10
60 - 69	10	10
70 - 79	10	10
> 80	<u>3</u>	<u>9</u>
	<u>53</u>	<u>57</u>
	<u>==</u>	<u>==</u>

Tab.1: Alters- und Geschlechtsverteilung der 110
untersuchten Fälle

c) Ergebnisse

Eine nach dem Geschlecht getrennte Auswertung der Ergebnisse brachte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Aus diesem Grund konnten beide Geschlechter in einem Kollektiv zusammengefaßt werden, obwohl sich bei den Frauen im höheren Alter ein größerer Knochenverlust als bei den Männern zeigte. Die Gesamtzahl der Fälle beträgt 110, wobei auf die 5., 6., 7. und 8. Dekade jeweils 20 Fälle (10 männliche und 10 weibliche), auf die 4. Dekade 18 und in die Gruppe über 80 Jahre 12 Fälle kommen.

I. Wasser - organischer Anteil - anorganischer Anteil (Tab.2)

Das Verteilungsmuster von Wasser, organischem und anorganischem Anteil des 3.LWK stimmt mit dem 5.LWK hinsichtlich der Konzentration und des Alters überein. Die 3 Meßgrößen des Femurs weichen quantitativ stark von denen des LWK III und LWK V ab. Die altersabhängige Zu- bzw. Abnahme des Wassers, organischen und anorganischen Anteils verläuft an den 3 Lokalisationen gleichsinnig (Abb.1).

Der Wassergehalt von LWK III und V ist Schwankungen unterworfen. Es folgt einer geringen Verminderung im frühen Alter ein leichter Anstieg im höheren Alter, dem sich nochmals ein Rückgang im Greisenalter anschließt. Der Schwankungsbereich liegt zwischen 1% und 2%, bei einem Wassergehalt von etwas mehr als 40%, bezogen auf das Frischgewicht.

Alter	Lendenwirbel III		Lendenwirbel V		Femurhals	
	H ₂ O-Anteil	Org.-Anteil	H ₂ O-Anteil	Org.-Anteil	H ₂ O-Anteil	Org.-Anteil
30 - 39	42,9 + 6,4	35,8 + 5,4	42,2 + 6,9	35,9 + 5,8	25,5 + 8,1	42,7 + 10,1
40 - 49	42,6 + 5,1	36,2 + 4,8	41,7 + 7,5	37,3 + 7,9	24,7 + 8,3	44,2 + 7,4
50 - 59	42,6 + 6,3	36,7 + 5,4	40,6 + 6,0	39,7 + 5,3	22,6 + 5,8	42,6 + 6,0
60 - 69	41,9 + 6,4	40,1 + 6,8	40,8 + 6,8	40,8 + 7,2	23,0 + 7,1	49,0 + 7,9
70 - 79	43,1 + 5,7	41,6 + 5,3	41,0 + 6,3	42,3 + 5,3	21,1 + 4,7	51,7 + 4,3
> 80	38,9 + 10,8	44,4 + 8,7	40,6 + 8,6	40,9 + 6,8	27,5 + 12,6	46,6 + 12,3
						30,8 + 5,4
						31,2 + 4,3
						29,7 + 4,2
						27,9 + 3,9
						26,7 + 2,8
						25,7 + 3,6

Tab. 2: Wassergehalt, anorganischer und organischer Anteil im Frischgewicht von Lenden-
wirbelkörper III, V und vom Femurhals in verschiedenen Lebensaltern (Mittelwert $\bar{x}$
und Standardabweichung s)

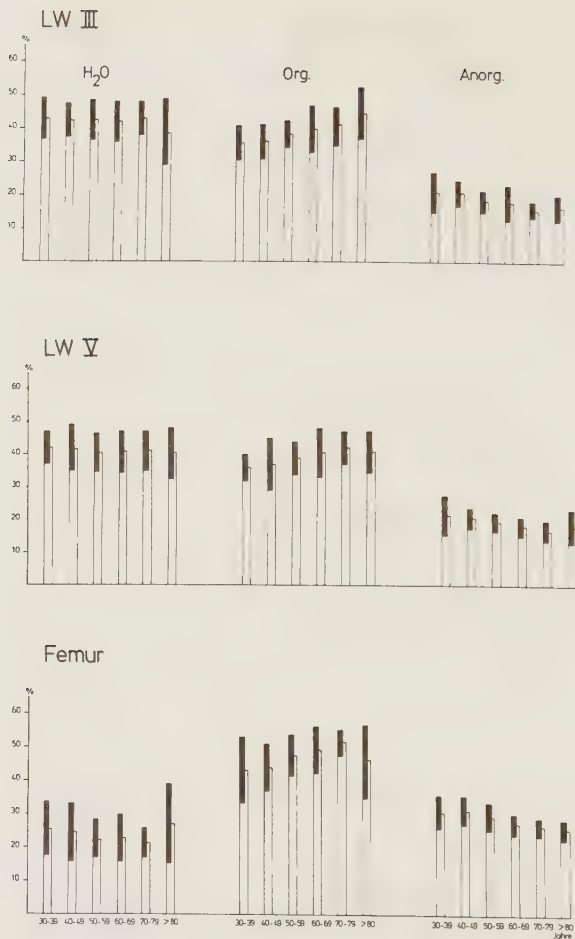


Abb. 1: Wassergehalt, organischer und anorganischer Anteil von LWK III, V und rechtem Femurhals in Abhängigkeit vom Alter (Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung s)

Einer mit steigendem Alter fast gleichmäßigen, treppenartigen Zunahme des organischen Anteils um ca. 7% steht eine ähnliche Abnahme - die zwischen der 4. und 5. Dekade zwar gering bleibt - des organischen Anteils gegenüber. Das Gewicht des anorganischen Anteils sinkt dabei von 22% auf 16% Frischgewichtsanteil ab. Eine Ausnahme stellen die Werte der Fälle über 80 Jahre dar, die um 1% ansteigen. Der um 0,5% bis 1% höhere anorganische Anteil des LWK V gegenüber dem LWK III besteht in allen Altersgruppen.

Für den Femur gelten dieselben Altersverschiebungen wie für LWK III und V und auch die jeweilige Zu- oder Abnahme bewegt sich in den oben geschilderten Größenordnungen. Der Wassergehalt ist 17% bis 20% tiefer, der organische Anteil um 7% bis 10% und der anorganische Anteil um 10% bis 11% höher als die entsprechenden Werte in den Lendenwirbelkörpern.

Der Absolutgehalt für Wasser in der Lendenwirbelsäule übertrifft somit den Wassergehalt des Femurs fast um das Doppelte, während der organische Anteil ein Viertel und der anorganische Anteil ein Drittel weniger ausmacht.

II. Knochenasche (Tab.3)

Ein gleichförmiges Verhalten in allen Altersgruppen, sowohl was die Konzentration bei zunehmendem Alter als auch die Konzentration der 3 Lokalisationen untereinander angeht, findet sich bei K a l z i u m, das einen Anteil von ca. 40% an der Knochenasche hat (Abb.2). In allen Dezennien steigt der

Alter	Lebensmittel III					Lebensmittel V					Famulhaus				
	Ca	Mg	Zn	Fe	Cu	Ca	Mg	Zn	Fe	Cu	Ca	Mg	Zn	Fe	Cu
30 - 39	402,1 + 15,5	5,03 + 0,63	0,277 + 0,048	1,32 + 0,73	0,017 + 0,025	404,5 + 14,5	4,93 + 0,79	0,269 + 0,059	1,26 + 0,74	0,012 + 0,006	409,0 + 13,7	4,63 + 0,45	0,218 + 0,032	0,23 + 0,12	0,009 + 0,003
40 - 49	395,7 + 27,7	5,06 + 0,45	0,294 + 0,059	1,14 + 0,74	0,014 + 0,008	403,6 + 11,4	5,08 + 0,42	0,284 + 0,042	1,03 + 0,89	0,013 + 0,005	407,7 + 13,9	4,53 + 0,32	0,221 + 0,037	0,30 + 0,27	0,009 + 0,004
50 - 59	396,8 + 28,9	5,10 + 0,75	0,301 + 0,055	1,42 + 1,04	0,015 + 0,013	400,8 + 14,0	5,15 + 0,73	0,295 + 0,059	1,30 + 0,92	0,012 + 0,006	405,4 + 13,9	4,71 + 0,49	0,236 + 0,059	0,36 + 0,29	0,010 + 0,007
60 - 69	397,2 + 13,1	4,80 + 0,58	0,200 + 0,052	1,39 + 0,66	0,016 + 0,008	399,1 + 12,7	4,82 + 0,59	0,298 + 0,052	1,26 + 0,78	0,013 + 0,004	406,2 + 11,4	4,66 + 0,36	0,219 + 0,057	0,29 + 0,20	0,011 + 0,003
70 - 79	392,8 + 10,3	4,86 + 0,49	0,254 + 0,058	2,38 + 1,55	0,017 + 0,010	392,5 + 16,0	4,82 + 0,46	0,258 + 0,058	1,85 + 1,30	0,014 + 0,006	405,1 + 15,0	4,57 + 0,36	0,216 + 0,031	0,43 + 0,52	0,010 + 0,008
> 80	393,3 + 17,6	4,86 + 0,38	0,320 + 0,053	1,61 + 0,73	0,016 + 0,008	393,8 + 17,6	4,86 + 0,38	0,320 + 0,053	1,61 + 0,73	0,014 + 0,008	409,8 + 14,3	4,50 + 0,30	0,240 + 0,030	0,38 + 0,20	0,010 + 0,003

Tab. 3: Übersicht der Ergebnisse der Analysen der untersuchten Elemente in Abhängigkeit vom Alter und von der Lokalisation (Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung s).
Elementkonzentration in mg/g Knochenasche

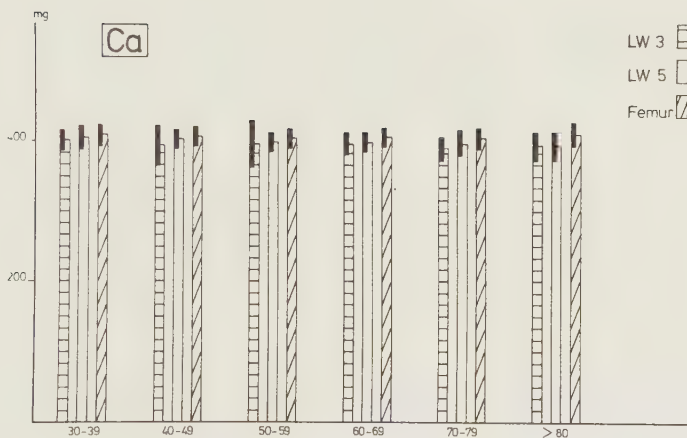


Abb.2: K a l z i u m in LWK III, V und rechtem Femurhals in Abhängigkeit vom Alter (Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung s). Elementkonzentration in mg/g Knochenasche

Wert vom 3.LWK über den 5.LWK zum Femur hin etwas an. Die Differenz zwischen ersterem und letzterem übertrifft jedoch nie mehr als 3%.

Ebenfalls eine konstante Konzentration in allen Dekaden ergibt sich beim **M a g n e s i u m**. Konzentrationsunterschiede zeigen sich nur zwischen den Lokalisationen und zwar ist diese für LWK III und V gleich, während der Femur eine um ca. 0,4 mgr/gr Knochenasche (= 7%-8%) tiefere besitzt (Abb.3).

Ähnlich wie Magnesium verhält sich das **Z i n k**, mit der Einschränkung, daß der Zinkgehalt des Femurs 0,075 mgr/gr Knochenasche, das entspricht 25%, niedriger ist als der von beiden LWK (Abb.3). Eine Differenz von 1% bis 2% deutet sich auch zwischen LWK III und V an. Die Konzentrationen der ersten Dekade befinden sich etwas unter und die der letzten Altersgruppe über den dazwischen liegenden Dekaden. Die Absolutwerte für Magnesium und Zink trennen 2 Zehnerpotenzen. Ein treppenartiges Verteilungsmuster - der Sprung von LWK III zu LWK V ist jedoch gering, verglichen mit dem vom LWK V zum Femur - ist für die Elemente **E i s e n** und **K u p f e r** typisch. Ferner fallen größere Unterschiede zwischen den einzelnen Dekaden, sowie beträchtliche Standardabweichungen auf (Abb.4).

Somit lassen sich die Elemente Kalzium, Magnesium und Zink mit ihren relativ konstanten Konzentrationen in untersuchten Lokalisationen und Dezennien den recht unterschiedliche Werte

aufweisenden Elementen Eisen und Kupfer gegenüberstellen. Als Ursache sind die starken individuellen Schwankungen anzusehen, die in den hohen Standardabweichungen ihren Ausdruck finden.

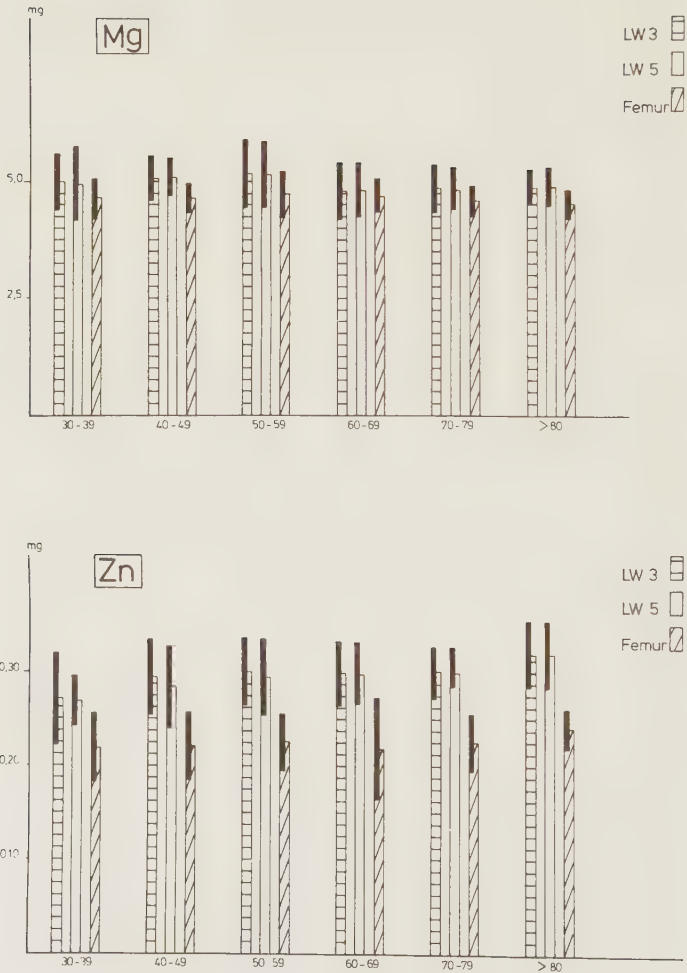


Abb.3: M a g n e s i u m u n d Z i n k i n L W K I I I , V u n d r e c h t e m F e m u r h a l s i n A b h ä n g i g k e i t v o m A l t e r (M i t t e l - w e r t $\bar{x}$ u n d S t a n d a r d a b w e i c h u n g s). E l e m e n t k o n z e n t r a t i o n i n m g / g K n o c h e n a s c h e

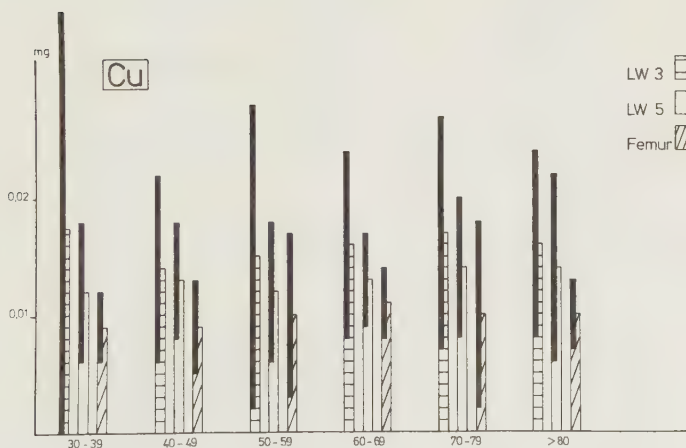
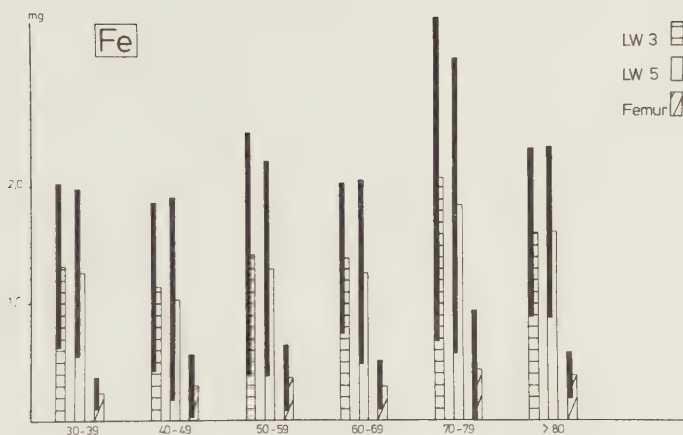


Abb.4: Eisen und Kupfer in LWK III, V und rechtem Femurhals in Abhängigkeit vom Alter (Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung s). Elementkonzentration in mg/g Knochenasche

III. Konzentration/Volumen-Konzentration/Frischgewicht (Tab.4u.5)

Der in Milligramm berechnete Elementgehalt für K a l z i u m der 4. Dekade ist bei Verwendung des Frischgewichtes als Bezugsgröße für die LWK III und V im Durchschnitt um 5% und für den Femur um 15% tiefer als bei Verwendung des Knochenvolumens. Der entscheidende Faktor liegt im unterschiedlichen spezifischen Gewicht der Knochen und dem Umstand, daß die Elemente in wässrigen Lösungen vermessen wurden. Für die Kalzium-Konzentration aller 3 Lokalisationen stellt sich eine gleichsinnig verlaufende Abnahme mit höher werdendem Alter, besonders zwischen der 6. und 8. Dekade, für die Berechnung nach dem Knochenvolumen (Abb.5a) als auch nach dem Frischgewicht (Abb.5b) dar. Die treppenartige Verteilung mit den kleinsten Werten für LWK III und größten für den Femur bleibt über alle Dezennien erhalten. Bei den folgenden Angaben der altersabhängigen Verminderung der Knochenmasse, in bezug auf das Volumen, bzw. Frischgewicht, wurden die Werte der 3 Lokalisationen der 5. Dekade als 100% angenommen und mit den Werten der 8. Dekade verglichen (Tab.6).

Die Differenz zwischen LWK III und V nimmt bei der Volumeberechnung von 2,3% auf 9,3% und bei der Frischgewichts-berechnung von 1,7% auf 8,0% zu. Der Kalziumverlust für LWK III ist größer als der für LWK V. Er beträgt bei ersterem 30,7% bei der Volumen- und 27,4% bei der Frischgewichts-berechnung und bei letzterem 25,9%, bzw. 22,9%.

Im Femurhals besitzt das Kalzium eine um ein Drittel bis ein Viertel höhere Konzentration als in den Lendenwirbelkörpern.

Alter	Elementkonz. in %										Elementkonz. in mg/ml									
	Ca	Sc	Zn	Fe	Cu	Co	Ni	Zn	Fe	Cu	Ni	Sc	Zn	Fe	Cu					
30 - 39	01,4 +0,1	1,15 +0,1	0,052 +0,001	0,038 +0,001	0,0000 +0,0000	0,01 +0,01	1,76 +0,1	0,002 +0,001	0,002 +0,001	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,002 +0,001	0,007 +0,001					
40 - 49	02,5 +0,1	1,17 +0,1	0,070 +0,001	0,045 +0,001	0,0000 +0,0000	0,01 +0,01	1,76 +0,1	0,002 +0,001	0,002 +0,001	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,002 +0,001	0,013 +0,001					
50 - 59	04,1 +0,1	1,00 +0,1	0,062 +0,001	0,046 +0,001	0,0000 +0,0000	0,01 +0,01	1,76 +0,1	0,002 +0,001	0,002 +0,001	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,002 +0,001	0,013 +0,001					
60 - 69	03,1 +0,1	0,98 +0,1	0,058 +0,001	0,040 +0,001	0,0000 +0,0000	0,01 +0,01	1,76 +0,1	0,002 +0,001	0,002 +0,001	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,002 +0,001	0,004 +0,001					
70 - 79	02,1 +0,1	0,90 +0,1	0,050 +0,001	0,038 +0,001	0,0000 +0,0000	0,01 +0,01	0,67 +0,1	0,002 +0,001	0,002 +0,001	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,002 +0,001	0,004 +0,001					
> 80	02,1 +0,1	0,82 +0,1	0,048 +0,001	0,038 +0,001	0,0000 +0,0000	0,01 +0,01	0,67 +0,1	0,002 +0,001	0,002 +0,001	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,0000 +0,0000	0,002 +0,001	0,006 +0,001					

Tab. 4: Übersicht der Ergebnisse der Analysen der untersuchten Elemente in Abhängigkeit vom Alter und von der Lokalisation (Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung s), Elementkonzentration in mg/ml Knochenvolumen

Alter	Lendenwirbel III					Lendenwirbel V					Femurhals				
	Ca	Mg	Zn	Fe	Cu	Ca	Mg	Zn	Fe	Cu	Ca	Mg	Zn	Fe	Cu
30 - 39	86,5 +25,5	1,07 +0,31	0,059 +0,015	0,28 +0,20	0,003 +0,003	87,8 +26,5	1,09 +0,31	0,058 +0,015	0,31 +0,21	0,002 +0,001	124,5 + 25,5	1,43 +0,28	0,065 +0,012	0,091 +0,085	0,003 +0,001
40 - 49	82,2 +11,1	1,04 +0,16	0,062 +0,011	0,22 +0,16	0,003 +0,003	83,4 +10,7	1,06 +0,11	0,061 +0,009	0,20 +0,19	0,002 +0,001	124,9 + 23,9	1,49 +0,24	0,070 +0,008	0,089 +0,088	0,003 +0,001
50 - 59	74,8 + 9,8	0,97 +0,16	0,055 +0,015	0,22 +0,15	0,003 +0,003	78,0 + 9,5	1,02 +0,16	0,057 +0,008	0,21 +0,15	0,002 +0,001	115,8 + 20,5	1,42 +0,17	0,066 +0,008	0,095 +0,084	0,003 +0,002
60 - 69	65,3 + 9,3	0,87 +0,15	0,052 +0,010	0,24 +0,11	0,003 +0,001	70,9 + 8,5	0,92 +0,14	0,056 +0,010	0,23 +0,12	0,003 +0,001	115,1 + 15,9	1,33 +0,17	0,066 +0,011	0,081 +0,062	0,003 +0,001
70 - 79	59,5 + 9,5	0,74 +0,08	0,047 +0,006	0,29 +0,20	0,003 +0,001	65,1 +12,1	0,80 +0,14	0,050 +0,009	0,28 +0,20	0,002 +0,001	106,4 + 15,4	1,25 +0,17	0,062 +0,011	0,119 +0,144	0,003 +0,001
> 80	64,0 +13,4	0,78 +0,21	0,051 +0,012	0,26 +0,12	0,003 +0,001	70,8 +15,2	0,86 +0,25	0,055 +0,012	0,23 +0,12	0,002 +0,001	111,2 + 24,5	1,20 +0,20	0,065 +0,015	0,100 +0,072	0,003 +0,001

Tab. 5: Übersicht der Ergebnisse der Analysen der untersuchten Elemente in Abhängigkeit vom Alter und von der Lokalisation (Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung s).

Elementkonzentration in mg/g Frischknochen

	Kalzium/Volumen (mg/ml)			Kalzium/Frischgewicht (mg/g)		
	5. Dekade	8. Dekade	Differenz in %	5. Dekade	8. Dekade	Differenz in %
LWK III	92,5	64,1	30,7%	82,0	59,5	27,4%
LWK V	94,7	70,1	25,9%	83,4	64,3	22,9%
Femurhals	157,0	122,6	21,9%	124,9	106,4	14,9%

Tab. 6: Übersicht der Kalzium-Konzentrationen nach der Volumen- bzw. Frischgewichtsberechnung der 5. und 8. Dekade. Differenz zwischen der 5. und 8. Dekade in Prozent.

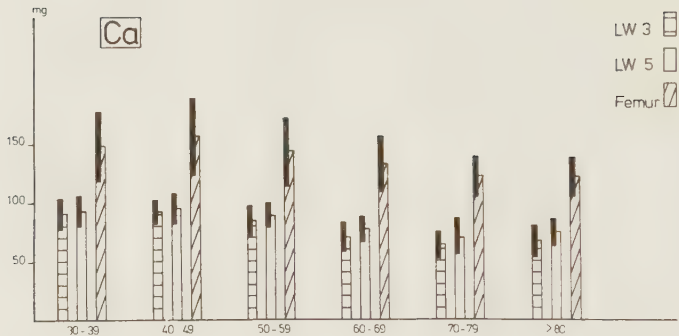


Abb.5a: K a l z i u m in LWK III, V und rechtem Femurhals in Abhängigkeit vom Alter (Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung s). Elementkonzentration in mg/ml Knochenvolumen

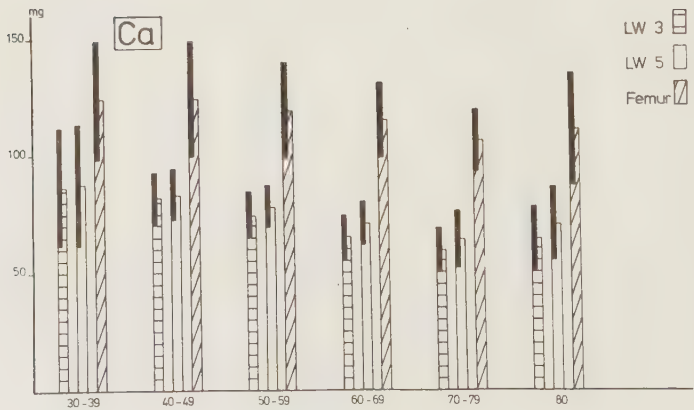


Abb.5b: K a l z i u m in LWK III, V und rechtem Femurhals in Abhängigkeit vom Alter (Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung s). Elementkonzentration in mg/g Frischgewicht

Die Kalziumabnahme beläuft sich auf 21,9% bei der Volumen- und 14,9% bei der Frischgewichtsmethode.

Somit ist der Kalziumverlust der 3 Lokalisationen bei Verwendung des Knochenvolumens als Bezugsgröße ausgeprägter als bei Verwendung des Frischgewichtes.

Auffällig ist ferner, daß in der 5. Dekade die auf das Volumen bezogenen Werte etwas über denen der 4. Dekade liegen.

Bei den Fällen über 80 Jahre zeichnet sich wieder ein Anstieg des Kalziums um einige Prozent sowohl bei den auf das Volumen als auch auf das Frischgewicht bezogenen Werten ab.

M a g n e s i u m u n d Z i n k verhalten sich an den 3 Lokalisationen hinsichtlich des Alters ähnlich wie Kalzium. Für beide Elemente wird die Konzentrations-Differenz zwischen LWK III und LWK V mit zunehmendem Alter größer. Die Konzentration im Femur ist bei Magnesium ein Drittel und bei Zink ein Sechstel höher als in der Lendenwirbelsäule (Abb.6a, b; 7a, b). Die Reduktion für Magnesium ist besonders zwischen der 6. und 8. Dekade, für Zink schon zwischen der 5. und 8. Dekade ausgeprägt. Bei Zink und Magnesium gilt wie schon beim Kalzium, daß die Werte der 4. Dekade unter denen der 5. liegen und in der Gruppe über 80 Jahre, abgesehen von den Werten des Femurs, wieder ein leichter Konzentrationsanstieg zu verzeichnen ist. Ebenso ergibt sich ein synchroner Verlauf der Meßgrößen mit dem Volumen, bzw. mit dem Frischgewicht als Bezugsgröße. Erstere zeigen höhere Werte als letztere.

Bei E i s e n findet man bei beiden Berechnungsarten eine stufenförmige Verteilung bezüglich der Lokalisation (Abb.8a,b).

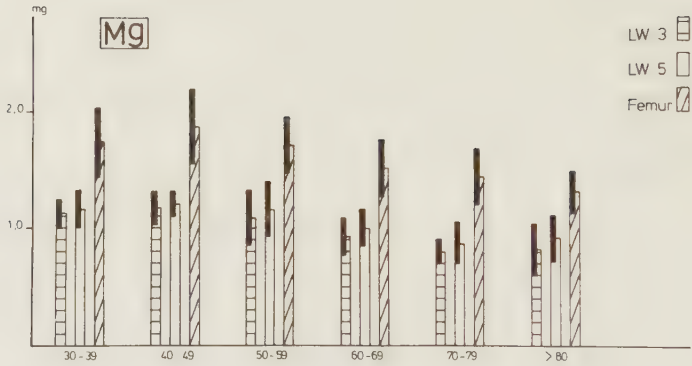


Abb.6a: M a g n e s i u m in LWK III, V und rechtem Femurhals in Abhängigkeit vom Alter (Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung s). Elementkonzentration in mg/ml Knochenvolumen

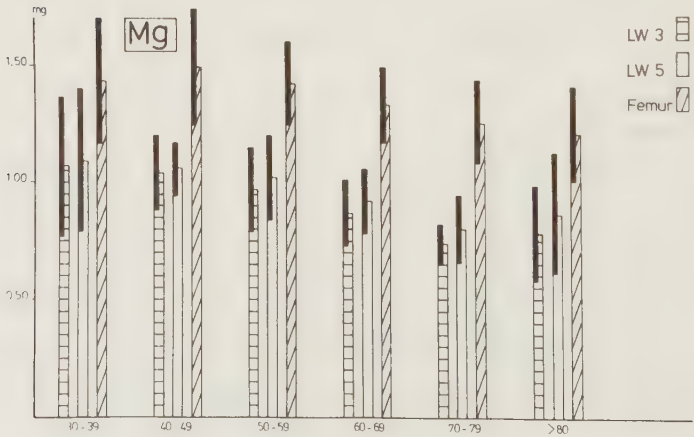


Abb.6b: M a g n e s i u m in LWK III, V und rechtem Femurhals in Abhängigkeit vom Alter (Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung s). Elementkonzentration in mg/g Frishgewicht

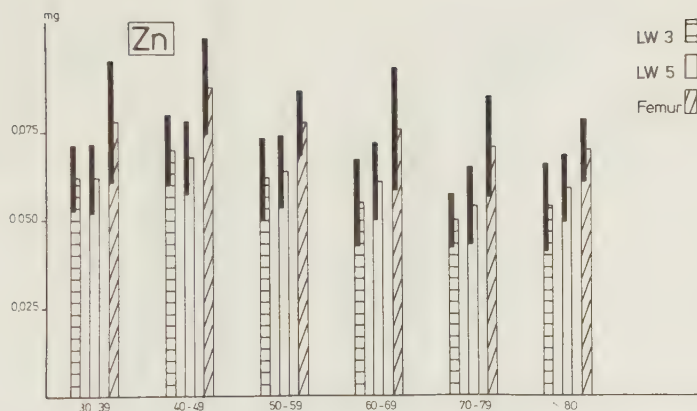


Abb.7a: Z i n k in LWK III, V und rechtem Femurhals in Abhängigkeit vom Alter (Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung s). Elementkonzentration in mg/ml Knochenvolumen

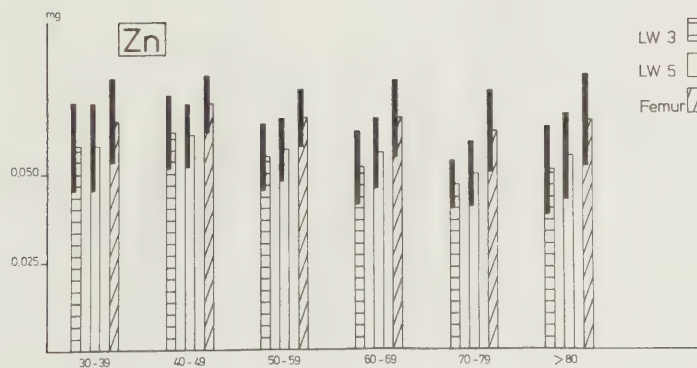


Abb.7b: Z i n k in LWK III, V und rechtem Femurhals in Abhängigkeit vom Alter (Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung s). Elementkonzentration in mg/g Frischgewicht

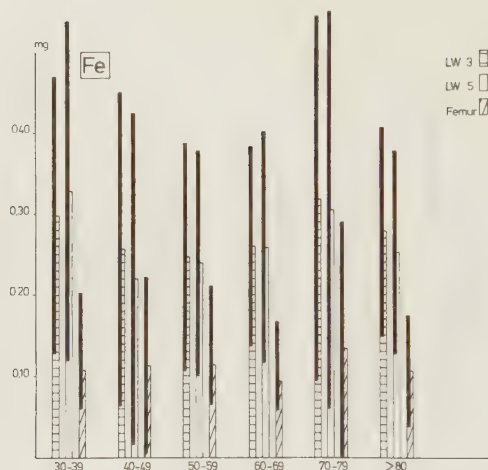


Abb.8a: Eisen in LWK III, V und rechtem Femurhals in Abhängigkeit vom Alter (Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung s). Elementkonzentration in mg/ml Knochenvolumen

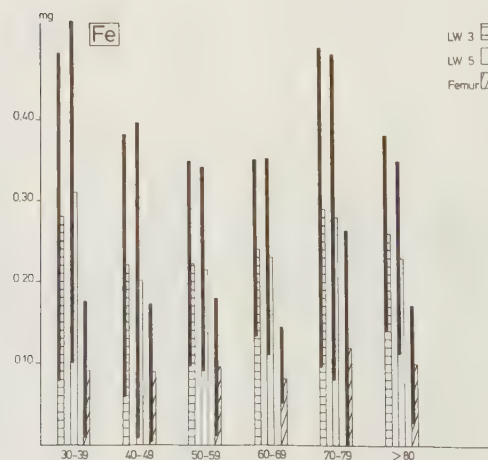


Abb.8b: Eisen in LWK III, V und rechtem Femurhals in Abhängigkeit vom Alter (Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung s). Elementkonzentration in mg/g Frischgewicht

Der LWK III besitzt die größten Werte und der Memur z.T. bis zu 2 Drittel kleinere als dieser. Der LWK V weist eine nur wenig unter der von LWK III liegenden Eisenkonzentration auf. Eine altersabhängige Abnahme ist nicht festzustellen. Die erheblichen Standardabweichungen lassen auf große individuelle Unterschiede schließen.

Für K u p f e r können weder Aussagen gemacht werden über eine mit dem Alter einhergehende Konzentrationsänderung noch über ein in allen Dezennien gleichbleibendes Verteilungsmuster zwischen den 3 Lokalisationen (Abb.9a,b). Die Werte von LWK III der 4. und 6. Dekade werden von übermäßig großen Standardabweichungen beeinflusst.

IV. Korrelationsdiagramme für Kalzium, Magnesium und Zink

Auf einem Korrelationsdiagramm sind jeweils alle Fälle für ein Element und eine Lokalisation in Beziehung zum Alter dargestellt. Ein Punkt entspricht einem Meßwert. Fallen 2 oder mehr Meßwerte zusammen, so wird dies durch die die Anzahl angegebende Zahl angezeigt.

Für LWK III und V liegen die Werte des K a l z i u m s sowohl bei der Abbildung für das Volumen als auch für das Frischgewicht bandförmig angeordnet vor (Abb.10a,b;11a,b). Betrachtet man die für einen bestimmten Altersabschnitt höchsten, bzw. tiefsten Werte entlang dem untersuchten Zeitraum von 70 Jahren als obere, bzw. untere Bandbegrenzung, bei Vernachlässigung der deutlich aus dem Kollektiv fallenden Werte, so zeigt das Band annähernd parallele Grenzen. Die Bandbreite umspannt bei den auf das Knochenvolumen bezogenen Meß-

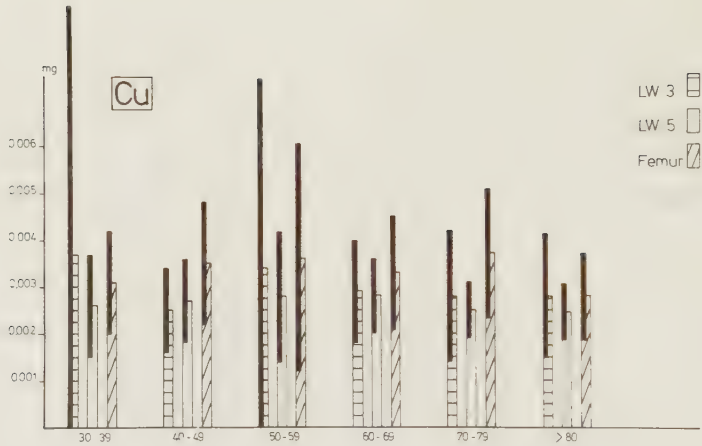


Abb. 9a: K u p f e r in LWK III, V und rechtem Femurhals in Abhängigkeit vom Alter (Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung s). Elementkonzentration in mg/ml Knochenvolumen

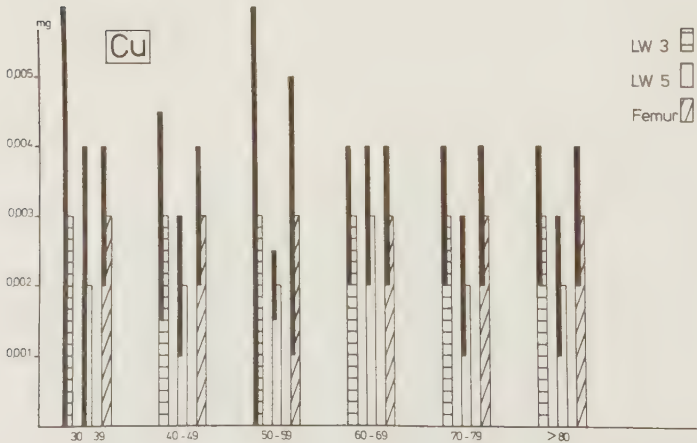


Abb. 9b: K u p f e r in LWK III, V und rechtem Femurhals in Abhängigkeit vom Alter (Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung s). Elementkonzentration in mg/g Frishgewicht

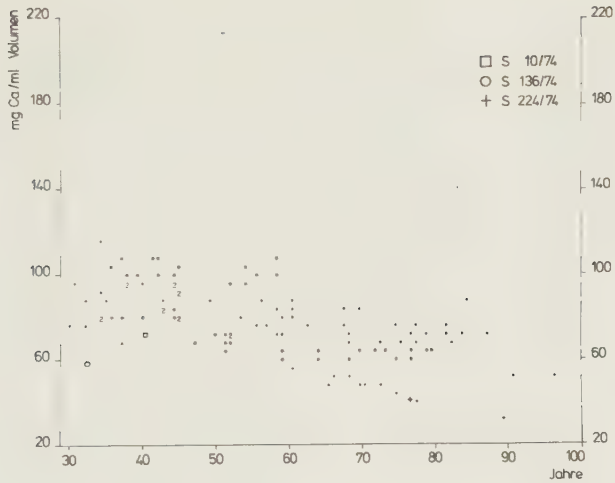


Abb.10a: Kalzium in LWK III. Elementkonzentration in mg/ml
Knochenvolumen. 106 "Normalfälle" und 3 Osteoporosefälle

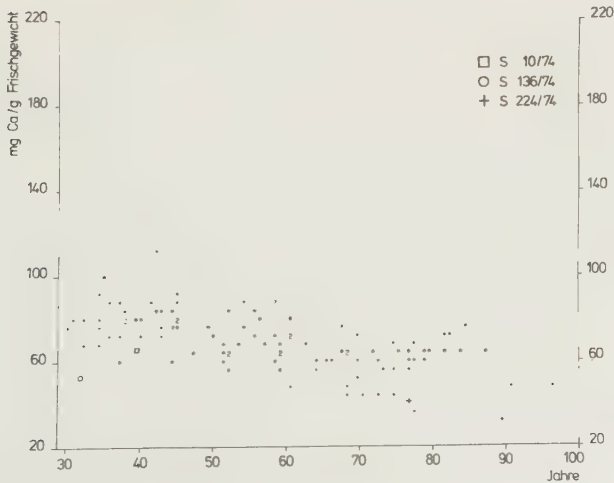


Abb.10b: Kalzium in LWK III. Elementkonzentration in mg/g
frischgewicht. 106 "Normalfälle" und 3 Osteoporosefälle

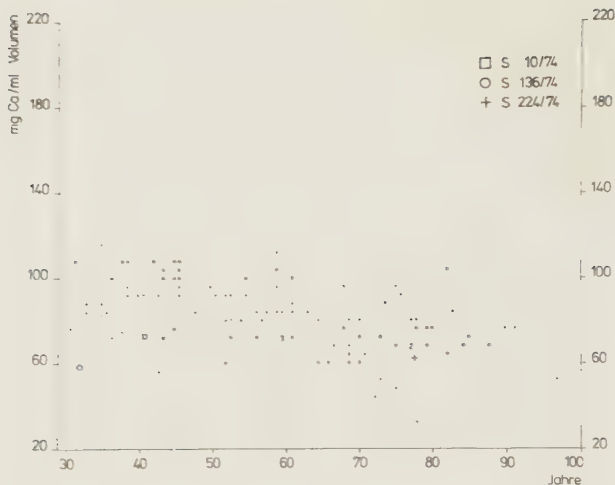


Abb. 11a: Kalzium in LWK V. Elementkonzentration in mg/ml Knochenvolumen. 106 "Normalfälle" und 3 Osteoporosefälle

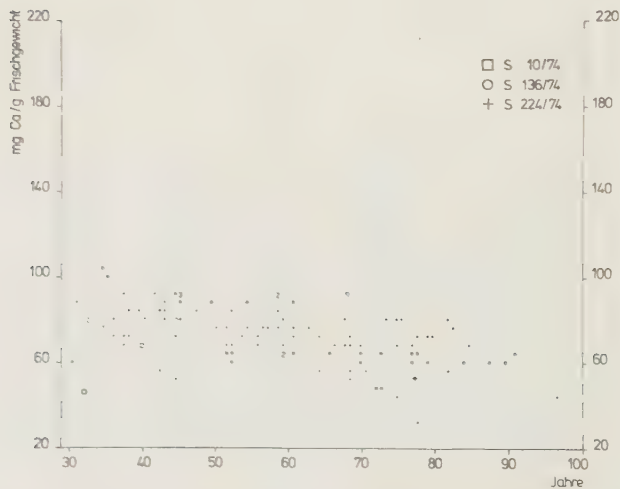


Abb. 11b: Kalzium in LWK V. Elementkonzentration in mg/g Frischgewicht. 106 "Normalfälle" und 3 Osteoporosefälle

werten einen größeren Konzentrationsbereich als bei den auf das Frischgewicht bezogenen Meßwerten. Das Kalzium pro Volumen und Frischgewicht des 3. LWK fällt im Zeitraum vom 50. bis 70. Lebensjahr deutlich ab. Bei dem 5. LWK zeichnet sich, nach einem kontinuierlichen, allerdings geringen Rückgang bis zum 60. Jahr, zwischen diesem und dem 70. Lebensjahr eine beschleunigte Verminderung ab. Dieser Vorgang drückt sich bei der Abbildung für das Frischgewicht besser aus als bei der für das Volumen.

Die Meßwerte des Femurs weichen in ihrer Gesamtheit deutlich von denen der Lendenwirbelsäule ab. Die Bandbreite ist im mittleren Erwachsenenalter fast doppelt so groß wie für die Lendenwirbelkörper und verringert sich im hohen Alter durch eine Konvergenz der Ober- und Untergrenze auf ungefähr die Hälfte der Ausgangsbreite (Abb. 12a,b). Dadurch, daß die starken individuellen Schwankungen der Werte im Alter abnehmen, lassen sich in diesem genauere Aussagen über die Kalziumverminderung machen.

Die Bandbreite des M a g n e s i u m s schwankt stärker für die 3 Lokalisationen und ist für die Frischgewichtsrechnung schmaler als für die Volumenberechnung. Ein merklicher Abfall der Werte von LWK III und V findet sich zwischen dem 60. und 65. Lebensjahr, während sich beim Femur ein kontinuierliches Absinken abzeichnet.

Für das Z i n k sind große Schwankungen der Bandbreite im gesamten erfaßten Zeitraum auffällig. Daher tritt die mit zunehmendem Alter einhergehende Reduzierung der Werte nicht so deutlich wie beim Kalzium hervor.

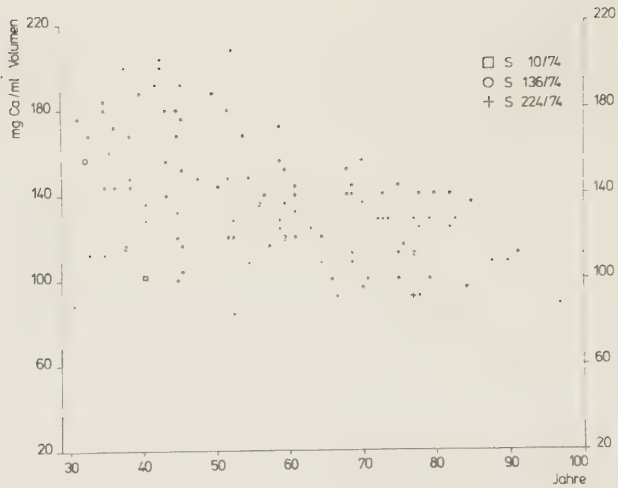


Abb.12a: Kalzium im rechten Femurhals. Elementkonzentration in mg/ml Knochenvolumen. 106 "Normalfälle" und 3 Osteoporosefälle

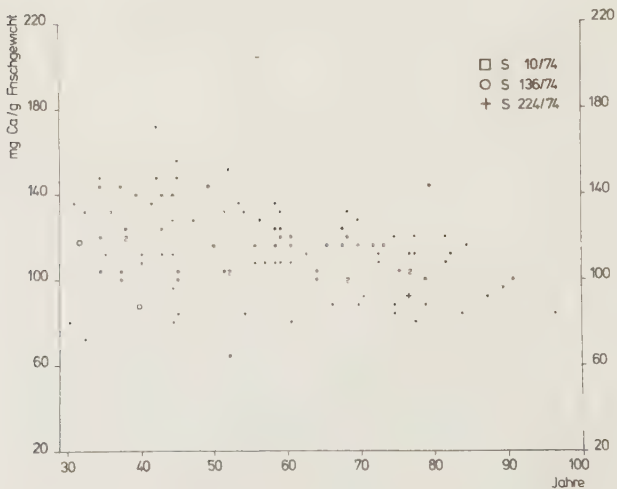


Abb.12b: Kalzium im rechten Femurhals. Elementkonzentration in mg/g Frischgewicht. 106 "Normalfälle" und 3 Osteoporosefälle

Für die Darstellung der Konzentrationen der Elemente Kalzium, Magnesium und Zink ist zu berücksichtigen, daß bei der Verteilung der Fälle über einen Zeitraum von 70 Jahren in einem Abschnitt von 3 Jahren, z.B. um das 45. Lebensjahr, nur ein Wert vorhanden ist. In anderen Altersabschnitten drängen sich in der Spanne eines Jahres bis zu 5 Werte. Dadurch und durch einzelne aus dem Kollektiv fallende Werte tritt eine gewisse Verzerrung und Unschärfe des Gesamtbildes der Korrelationsdiagramme auf. Trotzdem läßt sich bei den Fällen mit Osteoporose, die in die Diagramme für Kalzium miteingetragen sind (Abb.10a,b;11a,b;12a,b) eine solche aus der Lage der Meßwerte in den Abbildungen relativ gut erkennen. Sie kommen abgesehen von wenigen Ausnahmen an die Untergrenze, bzw. unterhalb des Konzentrationsbereiches der "Normalfälle" zu liegen.

V. Regressions-Korrelationsanalyse

Eine Regressions-Korrelationsanalyse für die Kalzium-Werte von LWK III, V und Femur bezogen auf das Knochenvolumen und denen bezogen auf das Frischgewicht erbrachte für die 3 Lokalisationen eine lineare Abhängigkeit mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha < 1\%$. Beim Vergleich der Regressionsgeraden (Abb.13) wird konstant in allen 3 Lokalisationen ein steilerer Verlauf der Geraden für die Volumen- als für die Frischgewichtsberechnung (vergl.Tab.6) gefunden.

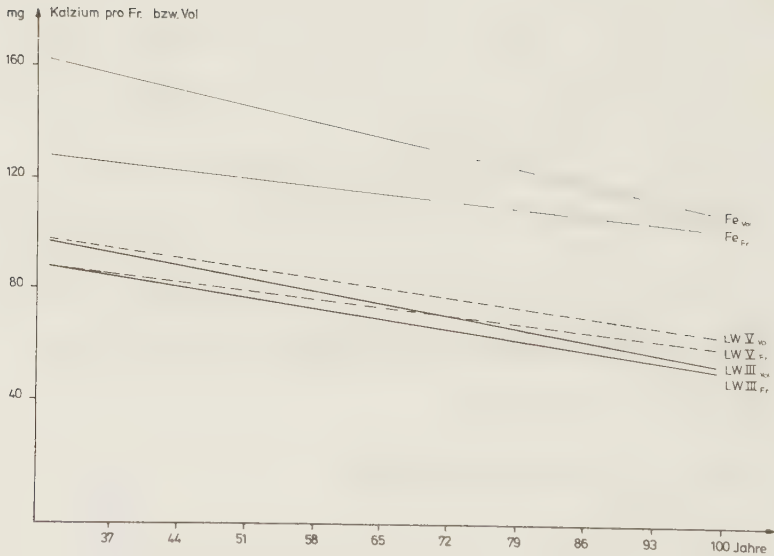


Abb.13: Kalzium-Abnahme von LWK III, V und rechtem Femurhals bezogen auf das Knochenvolumen (Vol) und Frischgewicht (Fr) bei zunehmendem Alter. Darstellung der Regressionsgeraden von 106 Fällen

d) Diskussion

1. Wasser - organischer Anteil - anorganischer Anteil

Die Unterschiede im Gehalt an Wasser, organischem und anorganischem Anteil zwischen LWK III, V und Femurhals erklären sich durch das verschiedene Verhältnis von Kompakte zu Spongiosa. Der hohe Wassergehalt in den Wirbelkörpern drückt ein ausgeprägtes Vorhandensein von blutbildendem Mark aus (BRANDT et al., 1974). Für die stärkere statische Belastung von LWK V verglichen mit LWK III spricht der etwas höhere Gehalt des anorganischen Anteils. Die altersabhängigen Änderungen der 3 Meßgrößen weichen nicht wesentlich von denen in der Literatur gefundenen ab (NEUMAN, NEUMAN 1958, NORDIN 1973, LUTZ 1974).

II. Elemente

Eine Konzentration des K a l z i u m s von ca. 40% in der Knochenasche an den 3 Lokalisationen stimmt mit Vergleichswerten überein (NEUMAN, NEUMAN 1958, CALDWELL und COLLINS 1961, SCHÜTTE 1973, LUTZ 1974). Eventuell sind die kleinen, konstanten Unterschiede zwischen LWK III, V und Femurhals dahingehend zu werten, daß die Kalzium-Konzentration geringfügig von der Lokalisation abhängt. Es ist denkbar, in der stufenförmigen Verteilung mit den kleinsten Werten für LWK III und den größten für den Femur eine Auswirkung der statischen und dynamischen Belastung zu sehen; insofern als mit zunehmender Belastung des Knochens der

Kalzium-Gehalt der Knochenasche steigt. Die in allen Altersgruppen geringen Standardabweichungen und konstant bleibenden Werte in den jeweiligen Lokalisationen schließen die von KUHLENCORDT (1971) angenommene Untermineralisation des osteoporotischen Knochens für den altersatrophischen Knochen aus.

Einen kontinuierlichen Kalzium-Verlust pro Milliliter Knochenvolumen der Wirbelsäule mit rund 30% bei zunehmendem Alter für ein Untersuchungskollektiv ohne Osteoporosefälle, wobei der Verlust bei den Frauen größer als bei den Männern ist, geben auch FRERCKS (1968), CHALMERS (1973) und KROKOWSKI (1974) an. Die von KROKOWSKI (1975) feststellte Kalzium-Höchstkonzentration um den Beginn der 40er Jahre, sowie ein leichter Anstieg der Kalzium-Werte bei Fällen älter als 80 Jahre, der auch durch eine mathematische Formel beschreibbar ist (FRERCKS 1968, KROKOWSKI 1973, MEUNIER 1973), können durch eigene Messungen bestätigt werden. Eine Erklärung für den Anstieg im hohen Alter ergibt sich eventuell aus einer gewissen Selektion. Eine andere Möglichkeit - zumindest bei der Betrachtung der Wirbelsäule - wäre die, daß die Kompakta der Wirbelkörper im Greisenalter durch appositionelles Wachstum (FISCHER et al., 1970) und Spondylosebildung solch eine Verdickung erfährt, daß die Altersatrophie von der endostalen Seite überkompensiert wird.

Der verglichen mit LWK III geringere Kalzium-Verlust von LWK V kann folgende Ursachen haben: Erstens ist der Kalzium-Gehalt von vornherein höher, woraus sich wahrscheinlich der von CHALMERS (1973) ermittelte größere Wider-

stand gegenüber einer experimentell erzeugten Kompression ableitet, und stellt eine somit günstigerere Ausgangslage gegenüber der Altersatrophie dar. Zweitens ist der Markraum von LWK V wahrscheinlich kleiner als von LWK III, was sich aus einem geringeren Eisen- und Wasser-Gehalt schließen läßt (BRANDT et al., 1974). Die endostale Oberfläche und folglich der Markraum sind aber von großer Bedeutung bei der Knochenresorption (JESSERER 1963). Die dritte Erklärung liegt unter Umständen in der schon oben erwähnten Spondylosierung, dem appositionellen Wachstum und einer hypertrophen Atrophie (WAGNER 1965, SCHENK 1969, KRUSE 1971, DAMBACHER 1971, UEHLINGER 1973, REUTTER 1974), die demnach in LWK V stärker zur Geltung kommen müßten als in LWK III.

Für die, verglichen mit CHALMERS (1973) und ARNOLD (1973), rund 30% höheren Absolutwerte des Kalziums pro Milliliter Knochen der Lendenwirbelsäule ist als wichtigste Ursache die zu nennen, daß für die Messungen in dieser Arbeit eine Wirbelkörperscheibe mit Kompakta und Spongiosa verwendet wurde. Dahingegen verarbeiteten die aufgeführten Autoren einen Spongiosawürfel. Ferner müssen die verschiedenen Methoden bei der chemisch-analytischen Kalzium-Bestimmung als solcher berücksichtigt werden; sowie die Tatsache, daß in verschiedenen Gebieten der Erde die Knochenmasse der betreffenden Populationen stark voneinander differieren kann (MORGAN 1973). Der von KROGINSKI (1972) angegebene um 15% tiefer liegende Kalzium-Gehalt der Lendenwirbelkörper hängt wahrscheinlich mit dessen röntgenologischer Bestimmungsmethode zusammen.

Die Kalzium-werte des Femurhalses, bezogen auf das Frischgewicht, stimmen mit denen von LUTZ (1974) überein. Vergleicht man die Konzentration pro ml Volumen und ihre Altersabhängigkeit mit der entsprechenden von LWK III und V, so läßt sich erneut bestätigen, daß die Altersatrophy an der Wirbelsäule am stärksten ausgeprägt ist.

Während die Standardabweichungen von LWK III und V mit ca. $\pm 10\%$ (KROKOWSKI 1971) in allen Dekaden konstant bleiben, sind sie in den jüngeren Altersabschnitten beim Femur mit ca. $\pm 20\%$ relativ hoch. Auf die großen individuellen Unterschiede in der Knochenmasse haben schon CALDWELL und COLLINS (1961), THIEMAN (1966) und MORGAN (1973) hingewiesen. Speziell für die diesbezüglich am meisten auffallenden Röhrenknochen betonen MEEMA et al., (1964) und KROKOWSKI (1974) die erhebliche Variationsbreite der Dicke der Kompakta, die sie auf verschiedenartige körperliche Tätigkeiten zurückführen. Die unterschiedliche genetische Disposition der einzelnen Individuen muß ebenfalls berücksichtigt werden. Eine Bestätigung für die Bedeutung der Kompakta liefert eine Arbeit von HEUCK (1963), der die Spongiosa des Femurhalses untersuchte. Hierbei liegt eine über den Zeitraum vom 15. bis über das 60. Lebensjahr ziemlich konstante Standardabweichung von ca. $\pm 13\%$ vor. Außerdem sind die Kalzium-Werte um fast die Hälfte tiefer als die in dieser Arbeit ermittelten. Für die hier auffällige Verminderung der Standardabweichungen im Alter auf ca. $\pm 12\%$ läßt sich unter Umständen ein Angleichen der körperlichen Tätigkeit der Individuen

anführen. Daraus würde jedoch folgen, daß die Altersatro-
phie bei verschiedenen Personen unterschiedlich stark zur
Geltung kommt. Dem gegenüber steht die Auffassung, daß even-
tuell die Reduktion der Knochenmasse mit zunehmendem Alter
bei jedem Individuum relativ konstant bleibt und somit für
den Grad der Atrophie die Knochenmasse im mittleren Erwach-
senenalter von entscheidender Bedeutung ist (WAGNER 1965,
MORGAN 1973).

Hieran zeigt sich auch, wie schwierig es ist, mittels einer
post mortem gemachten Untersuchung für den Einzelfall zu
entscheiden, inwieweit es sich noch um eine Altersatro-
phie oder schon um eine senile Osteoporose handelt; oder mit an-
deren Worten, ob ein pathologisch erniedrigter Wert bei ei-
nem Individuum mit primär hohem Mineralgehalt oder ein Nor-
malwert eines gesunden Menschen mit primär niedrigem Kalk-
gehalt vorliegt (THIEMAN 1966, JESSERER 1975). Nach URIST
(1973) ist eine Differenzierung zwischen der physiologischen
Altersatro-
phie und der Osteoporose erst dann möglich, wenn
Frakturen eingetreten sind.

Um die Aussagefähigkeit der eigenen Untersuchungen für den
Einzelfall zu prüfen, wurden 3 Sektionsfälle zusätzlich mit
ausgewertet, von denen eine Osteoporose anhand der Kranken-
geschichte zu erwarten war (40 jähriger Patient mit Malab-
sorptionssyndrom, SN 10/74; 33 jähriger Patient mit M.Cushing,
SN 136/74; 77 jährige Patientin nach Steroidtherapie, SN
224/74). In den Bereich der Standardabweichungen fielen nur
2 Meßwerte und zwar der des Femurs von dem 33 jährigen Pa-

tienten und der des LWK V der 77 jährigen Patientin. Ein differenzierteres Bild ergibt die Projektion der Ergebnisse in die jeweiligen Korrelationsdiagramme für Kalzium (Abb.10,11,12). Hierbei wird deutlich, daß alle Werte, abgesehen von dem des Femurs des 33 jährigen Patienten, außerhalb, bzw. im unteren Bereich des Konzentrationsbereiches der "Normalfälle" liegen. Bei diesem Patienten kommt eine für den M.Cushing typische Tatsache zur Geltung, nämlich eine in erster Linie an der Wirbelsäule auftretende Osteoporose (UEHLINGER 1974, KROKOWSKI 1974, JESSERER 1975). Im Fall der 77 jährigen Patientin griff die Osteoporose anscheinend durch eine länger anhaltende Steroidtherapie auf die Peripherie über. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß nach MORGAN (1973) bei einem Individuum keine Relation der Knochenmasse zwischen Wirbelsäule und peripherem Knochen besteht.

Anhand dieser Beispiele erkennt man, daß Osteoporosefälle im selbigen Konzentrationsniveau wie "Normalfälle" liegen können. Deshalb ist es bei einem Einzelfall, dessen Krankengeschichte keine sekundäre Osteoporose annehmen läßt, schwierig, eine idiopathische, präsenile oder senile Osteoporose allein aus der Kalzium-Konzentration pro ml Knochen zu verifizieren. Zudem werden Angaben über den normalen Knochen um so schlechter, je älter und kränker die Leute sind (JOWSEY 1974). Richtet man sich nach der Aussage von KROKOWSKI (1974), der für 12% aller in der BRD lebenden Menschen eine Osteoporose annimmt, bzw. KIENZLER (1974), der bei 29% von 218 untersuchten Frauen eine Osteoporose fest-

stellte, so könnte es sich bei den Fällen, die im selben Konzentrationsniveau wie die 3 sekundären Osteoporosen liegen, schon um primäre Osteoporosen handeln.

M a g n e s i u m weist eine um 2 und Z i n k eine um 4 Zehnerpotenzen tiefere Konzentration als Kalzium auf. Dasselbe Verteilungsmuster von Magnesium und Zink in der Knochenasche und das gleiche altersabhängige Verhalten bezogen auf die Konzentration pro Volumen, bzw. Frischgewicht, sprechen dafür, daß beide Elemente im Knochen als funktionell gleichwertig zu betrachten sind. Die Abhängigkeit von Alter und den Lokalisationen stimmt für die auf das Volumen, bzw. Frischgewicht bezogenen Werte mit den entsprechenden von Kalzium überein. Für Magnesium und Kalzium hat schon REMAGEN (1970) ein stöchiometrisches Verhältnis im Apatit postuliert. Sowohl für Magnesium als auch für Zink und Kalzium hat LUTZ (1974) für sein Untersuchungsmaterial diese Abhängigkeit bewiesen. Aus der alleinigen Deutung des Magnesium- und Zink-Gehaltes in der Knochenasche muß man für die jeweilige Konzentration einen wichtigen Faktor in der Markraumgröße sehen, was LUTZ (1974) für Magnesium schon getan, für Zink aber verneint hat.

Eine Erklärung dieses Sachverhaltes ist die, daß Magnesium und Zink in konstanten Konzentrationen im Apatit eingebaut oder an der Oberfläche adsorbiert sind (NEUMAN, NEUMAN 1958, SCHUTTE 1973). Zusätzlich sind sie im Markraum vorhanden. Hier treten sie in tieferen Konzentrationen als in der Knochensubstanz auf, denn sonst könnte bei einer Markraumzunahme infolge der Knochenatrophie keine Abnahme der beiden

auf das Volumen bezogenen Elemente zustande kommen. Möglicherweise besitzt die Spongiosa aber auch eine höhere Magnesium- und Zink-Konzentration als die Kompakta, was unter Umständen seine Ursache in einem größeren Knochenumsatz der Spongiosa hat (OLAH 1975). Die Spongiosa mit ihrem günstigen Quotienten Oberfläche/Volumen, wird intensiver als die Kompakta durchblutet, wodurch eine starke adsorptive Speicherung der beiden Elemente an der Oberfläche erfolgen kann. Eine getrennte Magnesium- und Zink-Bestimmung für vom Mark befreite Spongiosa, bzw. Kompakta würde für dieses Problem Klarheit schaffen.

Die E i s e n -Konzentrationen der 3 Lokalisationen, bezogen auf die 3 Meßparameter, bestätigen die Annahme von LUTZ (1974), daß das Eisen als das spezifische Element des blutbildenden Markes aufgefaßt werden kann. Eine Altersabhängigkeit ist deshalb schon nicht zu erwarten, da BRANDT et al. (1974) feststellten, daß der Eisengehalt im Knochenmark von der Blutfülle der Sinusoide abhängt.

Die K u p f e r -Konzentrationen in der Knochenasche mit den höchsten Werten in LWK III und den niedrigsten im Femur sprechen für ein Vorhandensein des Kupfers vor allem im blutbildenden Mark, wie BRANDT (1974) für den Femurschaft darstellte. Bei den auf das Volumen bezogenen Konzentrationen zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede zum Eisen, so daß das Kupfer nicht wie das Eisen problemlos mit dem blutbildenden Mark in Verbindung gebracht werden kann, sondern für dieses Element noch viele Fragen ungeklärt sind.

1.1. Fehlerquelle Zwischen von Normwert und pro Volumen und pro Frischgewicht

Ein Vergleich der eigenen vom Femurhals auf das Frischgewicht bezogenen Elementwerte mit den entsprechenden von ILLZ (1974) ergibt eine gute Übereinstimmung. Als die Verwendung des Frischgewichtes als Bezugsgröße besteht jedoch die Schwierigkeit, daß dieses sich durch die Altersatrophie des Knochens mitverändert. Und zwar wird der durch den Spongiosaverlust vergrößerte Markraum von Mark ausgefüllt. Die zwischen Knochen und Knochenmark vorhandene Differenz des spezifischen Gewichtes ruft somit eine Veränderung der Bezugsgröße hervor.

Um diese Fehlerquelle auszuschalten wurde in dieser Arbeit das Knochenvolumen als Bezugsgröße vergleichend bestimmt. Über auch bei dieser Methode ist die Forderung nach einem exakten Bezugssystem nicht erfüllt, denn auch das Knochenvolumen ist, wie im folgenden gezeigt werden soll, Veränderungen unterworfen. Außerdem sind an die jeweilige Situation angepaßte Normwerte über das Volumen nicht vorhanden. Eine wichtige Rolle bei der Volumenänderung infolge der Altersatrophie, bzw. Osteoporose spielt das verschiedene Verhalten von Kompakta und Spongiosa (EICHLER 1970, REUTTER 1974). Denn während der Knochenabbau im Zentrum der Spongiosa ("exzentrische Atrophie" nach PLIESS (1974)) beginnt (HEUCK 1963, THIEMANN 1966, VINZ und GARZ 1971, BURKHARDT 1973, FRICKE 1975, DEMMLER 1975), zum Teil zwar wieder durch eine hypertrophe Atrophie kompensiert wird, bleibt die Kompakta zunächst von einem Knochenabbau verschont. In den Wirbelkörpern nimmt die Spongiosa

allerdings den meisten Raum ein. Sie ist aber im Bereich der Wirbelkörpergrund- und deckplatte wesentlich dichter als im Zentrum. Bei einer Osteoporose wird dieser Unterschied noch vergrößert (WAGNER 1965). In den Röhrenknochen lagert ein beträchtlicher Teil des Kalziums in der Kompakta. Dadurch wird der Kalziumverlust der Spongiosa bei einem altersatrophischen Prozeß relativ lange verschleiert, wenn bei einer chemisch-analytischen Kalziumbestimmung die Spongiosa und die Kompakta gemeinsam als Untersuchungsmaterial herangezogen werden. Erst im fortgeschrittenen Stadium der Knochenatrophie setzt eine Kompaktaverdünnung von der endostalen Seite her ein (UEHLINGER 1974).

An der periostalen Seite, vorzugsweise an den Wirbelkörpern, laufen mit zunehmendem Alter der Knochenatrophie entgegengerichtete Vorgänge ab. Erstens können sich besonders an den Randleisten der Lendenwirbelkörper Spondylosen bilden (FLEISS 1974). Diese bei 60 % aller Männer und 80 % aller Frauen ab der 6. Dekade auftretenden Abbauvorgänge stellen eine Antwort der Wirbelkörper auf die funktionsmechanische Überbelastung im Bereich der Randleisten, gerade bedingt durch die Knochenatrophie, dar. Dadurch gewinnen die Lendenwirbelkörper aber an Volumen, zumal dieser Volumengewinn durch einen sehr dichten spongiösen Knochen erfolgt.

Zweitens tritt unabhängig von der Spondylosebildung mit zunehmendem Alter durch appositionelles, periostales Wachstum eine Vergrößerung der Wirbelkörperbreite, -höhe und -länge bei den Männern ein, während bei den Frauen einer Breitenzu-

nahme eine Höhen- und Längenabnahme gegenübersteht (FISCHER et al., 1970, ARNOLD 1973). Diese Vorgänge sind an der Lendenwirbelsäule am stärksten ausgeprägt. Eventuell sind diese Erscheinungen mit der von OLAH und SCHENK (1972) beschriebenen Vergrößerung des Rippenquerschnittes vergleichbar und stellen einen Kompensationsmechanismus zu der an der endostalen Oberfläche ablaufenden Resorption dar. Das appositionelle Wachstum und die Spondylosebildung verändern also das Verhältnis der Knochenmasse der Kompakta zu der der Spongiosa, bzw. nimmt das Knochenvolumen bei einer im Knocheninneren ablaufenden Knochenverminderung zu. Dadurch wird eine auf Volumen von Kompakta und Spongiosa bezogene Knochenmassenbestimmung beeinträchtigt.

Andrerseits können dieser Volumenexpansion genau entgegengerichtete Vorgänge ablaufen, die man unter dem Begriff "konzentrische Atrophie" (PLIESS 1974) zusammenfassen kann. Diese tritt besonders an den Wirbelkörpern in Erscheinung und verursacht mit der beschriebenen Expansion die Deformierung von denselbigen im Alter. Dabei unterliegen sie durch Zusammensintern einer langsamen Umgestaltung in eine bikonkave Form (WAGNER 1965, HAAS 1966, KROKOWSKI 1974, JESSERER 1974). Inwieweit es sich dabei um die Folge von Mikrofrakturen (SCHENK 1969, DAMBACHER 1971, JESSERER 1975, ARNOLD 1973, FROST 1973, GÖB 1974) oder um reine Umbauvorgänge (JOHNSON 1964, KROKOWSKI 1974, FRICKE und KROKOWSKI 1975) oder gar um eine Folge der Diskusexpansion (OTTE 1974) handelt, ist nicht von entscheidender Bedeutung. Wichtiger ist,

daß das Wirbelkörpervolumen abnimmt und wahrscheinlich sogar eine gewisse Verdichtung der Spongiosa durch die Mikrofrakturen und hypertrophe Atrophie der vertikalen Strukturelemente (strähnige Zeichnung der Wirbelkörper im Röntgenbild) stattfindet. Eine Erfassung dieser morphologischen Änderungen ist mit der in dieser Arbeit angewendeten Methode nicht möglich. Je stärker nun die Bikonkavität ausgeprägt ist, desto größer ist die Verfälschung der auf das Volumen bezogenen Elementkonzentrationen. Die Methode erreicht abrupt die Grenze, wenn es im Rahmen einer Osteoporose zu Deckplateneinbrüchen, Keilwirbel-, Fischwirbel- oder Flachwirbelbildung kommt. Nach JOWSEY und GORDAN (1971) und JAFFE (1972) leiden ca. 25% aller Individuen älter als 60 Jahre an osteoporotischen Wirbeldeformitäten. Die von solchen veränderten Wirbelkörpern erhaltenen Elementkonzentrationen liegen sämtlich zu hoch. Für die beiden Meßgrößen Volumen und Elementkonzentration pro Volumen tritt eine "Werteumkehr" ein.

Zieht man die bei der Volumenbestimmung größeren Meßfehler verglichen mit denen bei der Frischgewichtsbestimmung in Betracht, so erklärt sich die größere Bandbreite der auf das Volumen bezogenen Elementkonzentrationen (s. Abb. 10, 11, 12). Bei Untersuchungen einer größeren Fallzahl entsprechen die Mittelwerte dieser Methode jedoch eher den Absolutwerten. Wie schon bei den Ergebnissen in Tab. 6 beschrieben und auch an der Darstellung der Regressionsgeraden (Abb. 13) sichtbar, drücken sich bei der Volumenbestimmungsmethode bis zu 7% größere Knochenverluste durch die Altersatrophie aus als bei der

Frischgewichtsbestimmungsmethode. Diese Tatsache rechtfertigt die eigene oben dargelegte Behauptung über die bessere Aussage der Volumenmethode. Denn bei der Gewichtsmethode liegen die Werte bei fortschreitender Atrophie zunehmend zu hoch, weil das im Nenner stehende Frischgewicht durch den Knochenverlust immer kleinere Werte annimmt: Das die neu entstehenden Markräume vikariierend ausfüllende Knochenmark hat ein geringeres spezifisches Gewicht als der resorbierte Knochen.

Differenzierte Aussagen über die Knochenatrophie sind nach meinem Dafürhalten weniger gut möglich, wenn der gesamte Knochen - Knochenquerschnitt mit Kompakta und Spongiosa - untersucht wird. Die Untersuchungen von isolierten Spongiosawürfeln ergeben in bezug auf den Elementgehalt pro Volumen zeitlich den ersten und quantitativ feinsten Hinweis auf eine Knochenatrophie.

e) Zusammenfassung

Bei 110 Sektionsfällen, für die auf Grund der Krankengeschichte keine Osteoporose zu erwarten war, wurden aus dem 3. und 5. Lendenwirbelkörper und aus dem rechten Femurhals ca. 4mm Knochenscheiben herausgesägt. Von diesen wurden Frischgewicht, Volumen und Knochenasche bestimmt. Mittels der Atomabsorptionsspektralphotometrie erfolgte eine mineralanalytische Messung des Untersuchungsmaterials auf den Gehalt an Kalzium, Magnesium, Zink, Eisen und Kupfer. Die Elementkonzentrationen wurden auf Knochenasche, Knochenvolumen und Frischgewicht bezogen.

In den Lendenwirbelkörpern liegt der wassergehalt fast doppelt so hoch wie im Femurhals. Der organische Anteil des Femurhalses übertrifft den der Lendenwirbelkörper III und V um ca. ein Viertel, während der anorganische Anteil um ca. ein Drittel größer ist. Einer mit zunehmendem Alter stufenförmig verlaufenden Abnahme des anorganischen Anteils steht eine gleichermaßen geartete Zunahme des organischen Anteils an den 3 Lokalisationen gegenüber.

Die Knochenasche besteht zu ca. 40% aus K a l z i u m. Dieses liegt bei den auf das Volumen bezogenen Werten in einer höheren Konzentration als bei den auf das Frischgewicht bezogenen Werten vor. Bei ersteren nimmt es zwischen der 5. und 8. Dekade 30,7% am LWK III, 25,9% am LWK V und 21,9% am Femurhals ab. Die Verminderung der Kalzium-Werte pro Frischgewicht ist bei den 3 Lokalisationen um einige Prozent geringer. Diese Tatsache drücken auch die Regressionsgeraden aus.

M a g n e s i u m u n d Z i n k verhalten sich bei den Konzentrationsangaben pro Volumen bzw. Frischgewicht bezüglich Lokalisation und Alter ähnlich wie Kalzium. In der Anopsenache liegen die Konzentrationen beider Elemente im Femurhals tiefer als in den Lendenwirbelkörpern. Die Absolutwerte des Kalziums übertreffen die des Magnesiums um 2 und die des Zinks um 4 Zehnerpotenzen.

Für E i s e n u n d K u p f e r sind keine altersabhängigen Veränderungen der Konzentrationen an den 3 Lokalisationen feststellbar. In den beiden Lendenwirbelkörpern ist die Eisenkonzentration der 3 Konzentrationsberechnungen bedeutend höher als im Femurhals.

Die methodischen Unterschiede zwischen der auf das Volumen, bzw. Frischgewicht bezogenen Elementanalyse werden im Vergleich mit radiologischen, histometrischen und chemisch-analytischen Untersuchungen aus der Literatur diskutiert. Beide Methoden ergeben am Gesamtknochen eingeschränkte Aussagefähigkeit. Für eine differenzierte Beurteilung der Altersatrophie, bzw. Osteoporose des Knochens sollte der Kalziumgehalt auf das Volumen eines Spongiosawürfels bezogen werden.

f) Literaturverzeichnis

- Arnold, J.S. Osteoporosis in: Clinics in Endocrinology and Metabolism
Amount and Quality of Trabecular Bone in Osteoporotic Vertebral Fractures
W.B. Saunders Company Ltd., London (1973)
- Brandt, G., Pesch, H.J.,
Zeus, U., Lutz, D. Eisen- und Blutbildung im Femurmark
des Erwachsenen
Verh. Dtsch. Ges. Path. 58, (1974)
- Brandt, G. Mineralanalytische und histometrische
Studien am menschlichen Knochenmark
Med. Welt (im Druck) (1974)
- Burkhardt, R. Diagnose und Therapie der Osteoporose
MMW 115: 1915-1923 (1973)
- Caldwell, R.A. und
Collins, D.H. Assessment of Vertebral Osteoporosis
by Radiographic and Chemical Methods
Post-Mortem
The J. of Bone and Joint Surgery 43 B:
346-361 (1961)
- Chalmers, J. Osteoporosis in: Clinics in Endocrinology
and Metabolism
Distribution of Osteoporotic Changes
in the Ageing Skeleton
W.B. Saunders Company Ltd. London (1973)
- Dambacher, M.A., Olah,
A.J., Gunçaga, J.,
Haas, H.G. Die medikamentöse Therapie der Osteoporose
Therapiewoche 17:1415-1418 (1971)

- Demmler, K. Beziehung zwischen Mark und Knochen
bei Osteoporosen
Med.Klin. 70: 41-48 (1975)
- Richler, J. Inaktivitätsosteoporose durch Ruhig-
stellung im Gipsverband
Fortschr.Med. 88 Heft 5 (1970)
- Fischer, E., Giere, W. Größenänderungen von Skelettabschnitten
der Wirbelsäule und der unteren Extremitäten im Erwachsenenalter bei Männern
und Frauen
Z. Orth. 107 (1970)
- Fischer, E., Volck, H. Größenänderungen von Skelettabschnitten
der Wirbelsäule und der unteren Extremitäten im Erwachsenenalter bei Männern
und Frauen
Z. Orth. 107 (1970)
- Frercks, L. Vergleichende chemisch-analytische Un-
tersuchungen des spongiösen und kom-
pakten Knochens aus 5 verschiedenen
Skelettbezirken
Med. Diss. Kiel (1968)
- Fricke, M., Krokowski, E. Neue Aspekte zur Entstehung und Be-
handlung der Osteoporose
Therapiewoche 24 (1975)
- Frost, H., M., Osteoporosis in: Clinics in Endocrino-
logy and Metabolism
The Spinal Osteoporoses
W.B. Saunders Company Ltd. London (1973)

- Göb, A. et al. Der Kreuzschmerz - Differentialdiagnose
und operative Behandlung
MMW 116: 6 (1974)
- Haas, H., G., Die Abklärung von Knochenkrankheiten
Internist 7. Jg. Heft 11 (1966)
- Heuck, F. Ergebnisse chemisch-analytischer und
histo-radiographischer Untersuchungen
der Knochenkalksalze bei Osteopathien
Verh. Dtsch. Ges. Path. 47. Tg.: 182-185
(1963)
- Jaffe, H., L., Metabolic, Degenerativ and Inflammatory
Diseases of Bones and Joints
Urban & Schwarzenberg, München-Berlin-
Wien (1972)
- Jesserer, H. Atlas der Knochenkrankheiten
Merck, Darmstadt (1963)
- Jesserer, H. Knochenkrankheiten
Urban & Schwarzenberg, München-Berlin-
Wien (1971)
- Jesserer, H. Klinische Formen der Osteoporose und
ihre prognostisch-therapeutische Be-
wertung Therapiewoche 34 (1974)
- Jesserer, H. Osteoporose: Pathologie, Klinik und
Therapie
Therapiewoche 29 (1975)
- Jesserer, H. Diagnostische Erhebungen bei Osteo-
porose
Therapiewoche 36 (1975)

- Johnson, I., C., Morphologic Analysis in Pathology
In: Frost, H., M.,: Bone Biodynamics
Little, Brown & Co, Boston (1964)
- Jowsey, J., Gordan, G. Bone Turnover and Osteoporosis
In: Bourne, G., H.,: The Biochemistry
and Physiology of Bone, Vol III
Acad. Press, New York and London (1971)
- Jowsey, J. Die mikroradiographische Beurteilung
der Knochenstruktur
Triangel Sandoz Zeitschrift Bd. 12,
Nr. 3: 93-102 (1974)
- Kienzler, G. Anabol-loges in der Orthopädie
Therapiewoche 18 (1971)
- Krokowski, E. Osteoporose - kein Calciummangelsyndrom
Med.Klin. 66: 1770-1776 (1971)
- Krokowski, E. Kortikoid - Osteoporose
Med.Klin. 36: 1149-1157 (1972)
- Krokowski, E. Ist die Behandlung der Osteoporose ge-
rechtfertigt?
Med.Klin. 68: 1155-1160 (1973)
- Krokowski, E. Die postmenopausische Osteoporose -
ein Zeitabschnitt im normalen Knochen-
umbau
Med.Klin. 69:2100-2105 (1974)
- Krokowski, E. Radiologie der Osteoporose
Therapiewoche 34 (1974)
- Krokowski, E. Osteoporose-mehr als eine Knochen-
krankheit!
Med.Klin. 70: 822-829 (1975)

- Kruse, H., H., Histologie der Osteoporose
Verh. Dtsch. Ges. Orthop. Traumat.
57. Kongr. Stuttgart (1971)
- Kuhlencordt, F. Osteoporose
Verh. Dtsch. Ges. Orthop. Traumat.
57. Kongr. Stuttgart (1971)
- Iutz, D. Mineral- und Spurenelementgehalt des
menschlichen Femur
Med. Diss. Erlangen (1974)
- Meema, H., E., Harris,
C., K., Porret, R., E. Radiology 82 (1964)
- Meunier, P., Courpron, P.
Edouard, C., Bernard, J.
Bringuier, J., Vignon, G. Osteoporosis in: Clinics in Endocrinology and Metabolism
Physiological Senile Involution and
Pathological Rarefaction of Bone
W.B. Saunders Company Ltd., London (1973)
- Morgan, B. Osteoporosis in: Clinics in Endocrinology and Metabolism
Ageing and Osteoporosis, in Particular
Spinal Osteoporosis
W.B. Saunders Company Ltd. London (1973)
- Neuman, Neuman, The Chemical Dynamics of Bone Mineral
The University of Chicago Press (1958)
- Nordin, B., E., C. Osteoporosis in: Clinics in Endocrinology and Metabolism
W.B. Saunders Company Ltd. London (1973)

- Olah, A., J., Schenk, R. K. Veränderungen des Knochenvolumens und des Knochenanbaus in menschlichen Rippen und ihre Abhängigkeit von Alter und Geschlecht
Acta anat. 72: 584-602 (1969)
- Olah, A., J. Histologische Knochenmorphometrie
Internist 16:345-352 (1975)
- Otte, P. Das Verhalten der Bandscheibe bei der Osteoporose
Therapiewoche 34 (1974)
- Pesch, H., J., Brandt, G.
Lutz, D. Beitrag zur Mineralpathologie des Knochens
Verh. Dtsch. Ges. Path. 57, 467 (1973)
- Pliess, G. Bewegungsapparat in: Doerr, W. Organpathologie Bd. III
Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1974)
- Remagen, W. Kalziumkinetik und Knochenmorphologie
Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1970)
- Reutter, F., W. Diagnose und Therapie der Osteoporose
MMW 51/52: 2217-2222 (1974)
- Schenk, R., Merz, W. A. Histologisch-morphometrische Untersuchungen über Altersatrophie und senile Osteoporose in der Spongiosa des Beckenkammes
Dtsch. med. Wschr. 945: 206-208 (1969)
- Schütte, E. Mineralisation des Knochens als Stoffwechselprozeß
Verh. Dtsch. Ges. Path. 47. Tg.: 31-34 (1973)

- Thiemann,K.,J. Methoden zur Diagnostik der Osteoporose aus radiologischer Sicht
Internist 7: 11,564-572 (1966)
- Uehlinger,E. Allgemeine Pathologie der Osteoporose und ihre reparativen Möglichkeiten
Therapiewoche 43 (1973)
- Uehlinger,E. Pathologische Anatomie und Pathogenese der Osteoporose
Therapiewoche 34 (1974)
- Urist,M.,R., Osteoporosis in: Clinics in Endocrinology and Metabolism
Orthopaedic Management of Osteoporosis in Postmenopausal Women
W.B. Saunders Company Ltd. London (1973)
- Vinz,H.,Garz,K.,F. Ursachen und Ausmaß der erhöhten Knochenbrüchigkeit im Greisenalter
Beitr. Orthop. 18, Heft 7 (1971)
- Wagner,H. Präsenile Osteoporose
Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1965)

D a n k s a g u n g

Herrn Prof. Dr. V. Becker möchte ich herzlich danken für die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes am Pathologischen Institut. Für die Überlassung des Themas und Betreuung während der Arbeit sei Herrn Priv.-Doz. Dr. G. Brandt und Herrn Dr. med. H.-J. Pesch Dank gesagt. Ferner möchte ich Herrn Dipl.-Math. H. Prestele vom Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation für die freundliche Hilfe bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse danken.

L e b e n s l a u f

Am 12. Februar 1949 wurde ich, Helmut Gottlieb Konrad Schmidt als Sohn des Pfarrers Franz Schmidt und seiner Ehefrau Elisabeth, geb. Ott in Erlangen geboren.

Im Herbst 1955 trat ich in Oberaltertheim bei Würzburg in die Volksschule ein. Nach 4 Jahren wechselte ich in das Siebold-Realgymnasium in Würzburg über. Infolge einer Amtsversetzung meines Vaters in den Landkreis Erlangen, besuchte ich ab Mai 1963 das Marie-Therese-Gymnasium in Erlangen, wo ich im Juli 1968 die Reifeprüfung ablegte.

Im Winter 1968 begann ich an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg das Studium der Geologie und bestand im Wintersemester 1970/71 das Vordiplom. Das Sommersemester 1971 verbrachte ich an der Ruhr-Universität Bochum. Im Herbst 1971 brach ich das Geologiestudium aus medizinisch indizierten Gründen ab.

Im Wintersemester 1971/72 begann ich in Erlangen das Studium der Medizin und legte nach Anrechnung von einem Semester am Ende des WS 1971/72 das Vorphysikum ab. Nach dem Sommersemester 1973 bestand ich das Physikum. Am 11. Februar 1977 bestand ich die Ärztliche Prüfung.

Erlangen, im Februar 1977

Copy - Center 2000

852 ERLANGEN · Obere Karlstr. 30
Tel. 09131-26197